DOI:10.19851/j.cnki.cn11-1010/f.2011.05.016

李 飞 曹 慧

城市生活垃圾定价理论与模型应用

——以北京市为例

内容提要：本文运用最优化控制模型为北京市垃圾收费定价，创新性地提出将居民素质加入垃圾定价收费模型中，计算出更为合理且可行的垃圾收费价格。提出将垃圾收集、转运（分类）与最终处理相分离的新的垃圾处理模式，为垃圾处理市场化给出可行的方向，并提出了适当的政策建议。

关键词：生活垃圾收费　最优控制定价模型　居民素质

随着北京市的快速发展，城市生活垃圾的产生量也随之日益剧增。2005 年北京市生活垃圾日产生量约 14710 吨，其中城区日产生活垃圾 10490 吨；郊区县日产生活垃圾 4220 吨。2005 年北京市垃圾无害化处理率 81.2%，其中城区垃圾无害化处理率 95.1%，郊区垃圾无害化处理率 46.6%。2010 年北京市的常住人口已经达到 1760 多万，垃圾产量按照 665 万吨计算，垃圾年产量 5 年增长 23.84%，复式计算每年环比增长 4.37%。巨大的垃圾产生量不但对环境造成了严重的污染，还影响着城市的健康发展。

一、生活垃圾定价理论及其定价模型

生活垃圾作为公共物品，其定价原理应该遵循公共产品的定价原则。生活垃圾收费定价的基础理论主要是根据循环经济理论、外部性理论、公共产品定价理论和庇古税原理来解释的。需要强调的是：循环经济理论和外部性理论及其所提到垃圾填埋的二次污染问题，污染治理的费用也是需要污染者来承担。

循环经济理论倡导“资源—产品—再生资源”的物质反复循环流动的模式，本质上生态经济，对居民和企事业单位征收生活垃圾处理费，就是鼓励居民减少垃圾排放，实施资源循环利用。庇古税是将污染成本内部化，即是将企业污染成本加副企业本当中，尤其是庇古税体现了污染者付费原则，尽管城市生活垃圾处理是由政府提供的一种公共产品，但产业化才是垃圾处理的最终出路：要实现产业化、资源化，我们必须从产业化的角度来对其进行定价。

目前，国内已提出的生活垃圾定价模型主要有：(1)陈科和梁进社提出的“生活垃圾收费价格 = 边际生产成本 + 边际外部成本 + 边际使用者成本”模型。该模型应用边际成本定价法，并用平均成本代替边际成本，测算了北京市生活垃圾收费的定价标准；(2)彭晓明，迟光宇，王红瑞和董艳艳以排污收费中的费用分摊法为理论基础建立的垃圾收费定价模型；(3) 陈海滨等用水消费系数法测算了生活垃圾收费价格，并将之应用于中山市的实证研究。(4)连玉君从垃圾处理厂商的角度，考虑垃圾处理厂商的成本不仅有收集和处理的成本，还有环境成本。本文采用最优控制模型得出垃圾收费价格，并且认为垃圾处理应该由回收逐渐代替直接处理。

二、北京市垃圾收费的定价模型构建

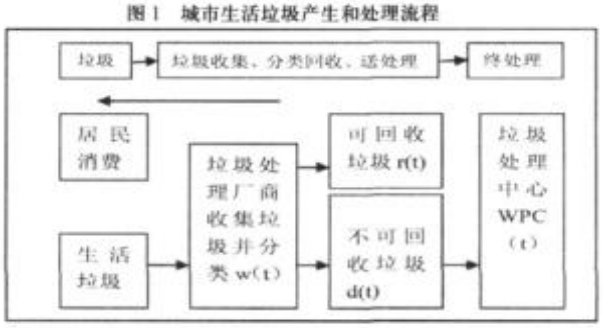
北京是中国的首都，世界了解中国的窗口，北京市居民的素养也是位居全国前列；尤其是 2008 年提出“人文奥运、绿色奥运”的口号后，居民的环保意识加强了，垃圾处理管理也相对好。由此，我们在选择定价模型时应该考虑到居民素质的提升对垃圾处理成本的影响。

在以上各定价模型中，连玉君的生活垃圾定价模型比较接近国外市场化的定价机制。但是，该模型并没有考虑城市居民素质在不断提高。本文在该模型的基础上，加入居民素质因素对垃圾收费进行定价。

1.模型假设。

假设 1 垃圾处理厂商负责收集、转运、分类，但并不负责最终的垃圾处理，垃圾最终处理由政府承担。这个假设相当于降低了垃圾处理厂商的进入门槛，厂商收集垃圾、分类并回收后，将需要处理的垃圾送交处理，并且根据垃圾种类支付处理费用，厂商则赚取垃圾收集费用和回收品出售的收入（如图 1）。

图 1　城市生活垃圾产生和处理流程



假设 2 垃圾处理的过程中只需要劳动投入。

假设 3 城市居民素质的提高会减少垃圾的产生，提高垃圾的回收利用率。随着越来越多的人具有环保意识（以下简称素质），人们将逐渐减少生活垃圾量（如白色垃圾），并且养成垃圾分类的习惯，有效推动生活垃圾的减量化和资源化。

假设 4 将环境看成是一个大的容器，那么填埋、焚烧和堆肥这三种处理方式都会对环境造成一定的影响，会减少环境的容污能力。将其作为企业实现利润最大化的约束条件。

假设 5 垃圾实行按量收费制度。

2.模型构建及其解释。垃圾处理厂商作为市场的主体，其存在的目标是实现利润的最大化。厂商的收入有垃圾处理收费和回收品的销售收入，而成本就是支付环卫工人工资和垃圾终端处理费用。

本文的模型是在连玉君的基础上加入了假设 1 和 3，因

本文系列产品教育部人文社会科学研究项目（09YJA790010）北京市教委项目（SM201010011002）。

此本文只解释增加的部分和最后计算的结果。根据假设3，对于居民素质，我们用城市居民对垃圾分类收集政策的认知程度和生活垃圾收费政策的认知程度来衡量，并且假定北京市居民的素质随着垃圾处理量的增加而逐渐提高。每年居民素质的变化对当年的垃圾处理量的影响关系设定为：

$$\text{Max}\quad \pi=\int_0^{\infty}[p^g\cdot r(t)+p^R\cdot s(t)-p^x\cdot s(t)-p^R\cdot[x_R(t)+x_x(t)+x_d(t)]-p^d\cdot d(t)]e^{-rt}dt \quad (1)$$

$$\text{s.t}\quad s(t)=S(x_s);\ r(t)=R(x_R);$$
$$r(t)+d(t)=S(t);$$
$$\dot{E}(t)=-m\cdot d(t);\ \dot{C}(t)=n\cdot d(t) \quad (2)$$

其中，C表示城市居民的素质在t期的存量，d表示采用以上三种方式进行垃圾最终处理的处理量，n>0且为常数。每年居民素质的变化对当年的垃圾处理量的影响关系设定为：$C(t)=n\cdot d(t)$，$C(t)$表示C关于时间t的导数。

初始条件为：$C(0)=C_0$；$E(0)=E_0$，其中，i为折现率，假设为常数。采用哈密尔顿函数求得最优解为：

$$p^g=\left(\frac{p^x}{S_x}+\frac{p^x}{D_x}\right)+p^d+m\cdot q_E-n\cdot q_C \quad (3)$$

$$p^r=\left(\frac{p^x}{S_x}+\frac{p^x}{R_x}\right)-p^R \quad (4)$$

$$q_C(t)=\bar{q}_C e^{rt}+e^{rt}\int_0^{\infty}\left(\frac{p^x}{D_x}\right)D_C e^{-rt}dt \quad (5)$$

其中，q_c为共态变量(Costate variable)，在模型求解过程得到的，这里我们可以视其为影子价格。

这样，就可以求出按量收费的单位定价。(3)、(4)式中的P^x/S^x、P^x/R^x、P^x/D^x分别表示垃圾、回收和最终处理的成本。由(3)式可知，垃圾的处理费用应该包括三部分：一是垃圾收集和最终处理的边际成本即P^x/S^x和P^x/D^x+P^d，这是垃圾处理厂商必须投入的成本；二是由于环境容污能力降低而导致未来处理成本，即$m\cdot q_E$；三是城市居民环保意识的提高，垃圾初次分类加强而给处理厂商减少二次分类投入而形成的节余，即这里的$n\cdot q_c$。

从回收产品的成本(4)式看，这部分内容不仅包括收集和回收的边际成本，还需要扣除垃圾处理的成本P^x，因为垃圾回收就避免了对环境的污染，并没有造成环境容污能力的减少。

很明显，回收的方式成本低、收入高。企业为了取得最大的利润，有动机去增加垃圾的回收利用。可见，市场化的垃圾回收方式将会是更为环保科学的处理垃圾的模式。

三、北京市垃圾收费定价模型的应用

1.北京市垃圾处理的边际成本。据测算，2002年北京市的收集、转运(分类)、填埋、焚烧、堆肥平均单位成本分别是21.7元/吨、37元/吨、63.2元/吨、39.1元/吨、61.8元/吨。由于不同垃圾的处理方式所花费的成本不一样，不同性质的垃圾处理方式也应收取不同的价格。根据定价公式(3)，在先不考虑环境和居民素质因素的前提下，$P^g=(P^x/S^x+P^x/D^x)+P^d$。对于有机垃圾，主要是收集、转运(分类)、堆肥以及堆肥减量后最终填埋的费用，这种方式可以看成是一种间接回收方式处理垃圾，加总成本为133.6元/吨；填埋处理的垃圾成本为97.9元/吨；焚烧处理的垃圾成本为121.9元/吨。

由于这些成本是2002年时的数据，在计算今天的成本时，需考虑货币的时间价值、经济增长和垃圾产量的增长等因素。因此在原有的基础上每年按4.37%的增长方式复利计算到2010年，则$P^g(1)$=188.11元/吨；$P^g(2)$=137.84元/吨；$P^g(3)$=171.63元/吨。

考虑环境因素，定价公式变为因为$P^g=(P^x/S^x+P^x/D^x)+P^d+m\cdot q_E$，垃圾的焚烧和填埋都会对环境造成影响，这部分未来的环境治理成本会增加垃圾处理成本。如果我们采用环保的方式处理垃圾，如堆肥，其循环利用会增加一定收入，相应减少成本。在堆肥过程中会有10元/吨的收入，今天的价值是14.08元/吨，则堆肥的实际成本是$P^g(1)$=174.03元/吨。

2.居民素质因素的影响。根据江源等对全国5个大城市的居民对垃圾处理收费的认知程度的调研，北京认知率第一，达91%，高出平均水平6个百分点。把认知率量化到公式(3)中，便可以分析居民素质对垃圾定价的影响了。

根据表1，我们可以计算出n=(86-81.4)/(635.1-408.75)=0.0203，再把数据带入公式(5)得$q_E(2010)$=118.73，$nq_E(2010)$=2.41$P^g(1)$=171.62元/吨，$P^g(2)$=95.49元/吨；$P^g(3)$=119.49元/吨。可见，居民素质的提高有利于减少垃圾的处理量，表1中从2008年开始垃圾的产出量逐年降低，这正是2008年奥运会北京市高喊"绿色奥运"，并不断加强居民环保意识的显著成果。居民素质提高还可降低垃圾处理成本，而且素质提高得越多成本降低越多，更有利于环境保护，是减量化、资源化发展的最优途径。

表1 垃圾产量及市民环保意识

年份	2002	2005	2007	2008	2009	2010
垃圾产量（万吨）	408.75*	537	619	672	667.95	635.1
垃圾分类知晓率（%）	81.4					

数据来源：垃圾产量是根据新闻数据收集，带*的数据是由于这两年没有统计，本文根据垃圾处理比计算得出；市民环保意识是从江源[7]中获取的抽是否愿意将垃圾分类；是否知道垃圾分类的意义；愿意在家中将垃圾分类=0.3:0.3:0.4加权平均数。

四、结语

北京"十二五"提出发挥价格杠杆调控作用，逐步提高非居民生活垃圾处理收费标准，完善居民生活垃圾处理收费制度。实行区域生活垃圾总量控制，实施"增量加价，减量奖励"的垃圾处理调控政策，努力促进生活垃圾增长率逐年降低，到2015年基本实现零增长。要完成这个目标，就需要做到：

1.实行垃圾收集、转运(分类)与终处理相分离的模式。在我们的模型假设中，有关于垃圾的最终处理与收集转运相分离的假设，这个假设降低市场进入门槛，更加有利于市场化进程。政府不是环境的买单者，它是宏观调控主体，可以运用价格调控，实现资源化、减量化。西方经验表明这是可行的。

2.加强居民的环保素质教育。居民的环保素质会降低垃圾的产生量，有利于环境保护，这个成果已经在2008年中显现出来，市政管理委员会可在此基础上，继续推广"环保教育"。

参考文献：

[1]彭晓明，迟光宇等.城市生活垃圾收费的定价模型及其应用[J].资源科学，2006.1

[2]连玉君.城市垃圾按量收费的经济分析[J].南大商学评论，2006(2)

[3]北京市环境卫生设施市场化与政府管制对策研究课题[J].北京工商大学，2007

[4]王宝英，牛冬杰，赵由才.生活垃圾处理收费问题浅析[J].环境科技，2008.12

(作者单位：北京工商大学经济学院)